

AL



10/582,930

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 100 24 302 A 1

⑤ Int. Cl. 7:  
B 22 C 9/04  
B 22 C 7/02  
B 22 D 19/00

⑦1 Aktenzeichen: 100 24 302.9  
⑦2 Anmeldetag: 17. 5. 2000  
⑦3 Offenlegungstag: 22. 11. 2001

DE 100 24 302 A 1

⑦1 Anmelder:  
ALSTOM Power N.V., Amsterdam, NL

⑦4 Vertreter:  
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241  
München

⑦2 Erfinder:  
Rösler, Hans-Joachim, Dr., 38116 Braunschweig,  
DE; Beeck, Alexander, Dr., Orlando, Fla., US; Ernst,  
Peter, Dr., Stadel, CH; Fried, Reinhard,  
Nussbaumen, CH

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE 38 13 287 C2  
DE 38 06 987 C2  
DE 32 35 230 C2  
DE 32 10 433 C2  
DE 32 03 869 C2  
DE 31 04 920 C2  
DE 15 08 663 B1  
DE 197 18 886 A1  
DE 196 12 500 A1  
DE 43 28 401 A1  
DE 28 53 705 A1  
DE 21 24 773 A  
US 55 11 604

US 46 53 983  
US 37 63 926  
US 36 90 367  
EP 01 32 667 B1  
EP 07 49 790 A1  
EP 04 78 413 A1  
WO 98 50 186 A1  
WO 97 19 774 A1

GROTE, Frank, BUSSE, Peter: Ein neues gieß-  
technisches Herstellungsverfahren für offenporige  
Metallschwämme. In: Giesserei 86, 1999, Nr.10,  
12.Okt., S.75-78;

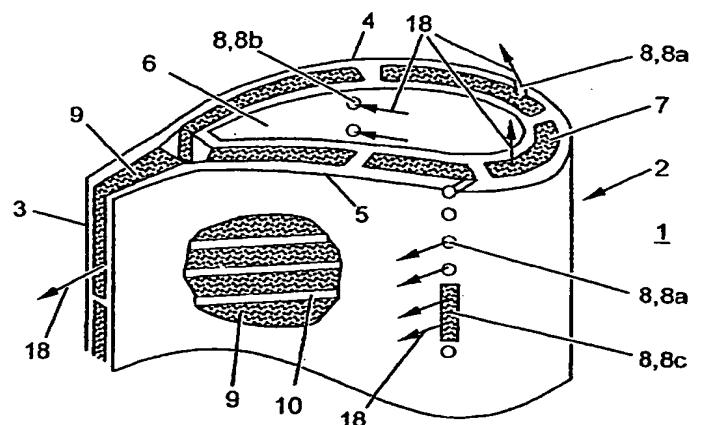
HARTMANN, M.: Syntaktische Schäume auf  
Magnesium-  
basis. In: Aluminium, 75.Jg., 1999, 3, S.154-156;  
GÜNTNER, A., SCHÄDLICH-STUBENRAUCH, J.:  
Gieß-

technische Herstellung von Gradientenwerkstoffen  
durch kontrollierte Formfüllung, Teil I. In:  
Aluminium, 73.Jg., 1997, 7/8, S.531-536;  
KUHLGATZ, Carsten: Zum Stand der Technik des  
Vollformgießens von Seriengußteilen in binder-  
freiem Sand (Lost-Foam-Verfahren) am Beispiel  
der SATURN-Gießerei. In: Giesserei 81, 1994,  
Nr.22, 14.Nov., S.803-808;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Verfahren zur Herstellung eines thermisch belasteten Gussteils

⑤7 Zur Herstellung eines thermisch hoch belasteten Guss-  
teils (1, 14, 16, 17) einer thermisch Turbomaschine, wel-  
ches mit einem bekannten Gussverfahren hergestellt  
wird, wird die Gussform aus einem Schlicker mit einem  
Wachsmodell und einem daran angehefteten oder in ei-  
nen Hohlraum eingeführten Polymerschäum hergestellt.  
Auf diese Weise dringt während des Gussverfahrens die  
flüssige Superlegierung auch in die offenporige Struktur  
der Gussform ein, so dass eine integrale Kühlstruktur (7)  
während des Erstarrungsvorgangs des Gussteils (1, 14,  
16, 17) entsteht. Vorteilhaft wird ein einkristallines oder  
gerichtet erstarrtes Gussteil (1, 14, 16, 17) hergestellt.  
Auch eine Variation der Porengröße des Polymer-  
schaums, eine getrennte Herstellung von Kühlstruktur (7)  
und Grundwerkstoff und eine Beschichtung der Kühl-  
struktur (7) mit einer keramischen Schutzschicht (TBC)  
(11) ist denkbar.



DE 100 24 302 A 1

## TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines thermisch belasteten Gussteils einer thermischen Turbomaschine gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

## STAND DER TECHNIK

[0002] Es ist seit langem bekannt, mit Heissgas beaufschlagte Teile thermischer Turbomaschinen, also beispielsweise Turbinenschaufeln von Gasturbinen, mit Kühlluftbohrungen oder mit Kühlstrukturen zu versehen, um einerseits die Temperatur des Heissgases erhöhen zu können und andererseits die Lebensdauer der betroffenen Teile zu verlängern. Zum einen wird die Innenseite oder ein doppelwandig geführtes Kühlsystem beispielsweise einer Turbinenschaufel mit Kühlluft durch Abfuhr der Wärme nach aussen gekühlt. Zum anderen wird die Aussenseite der Schaufel durch einen Film, welcher sich an der Oberfläche der Turbinenschaufel bildet, gekühlt. Es ist dabei Ziel, die Filmkühlung so effektiv wie möglich zu gestalten und gleichzeitig die Kühlluftmenge zu reduzieren.

[0003] Gasturbinenschaufeln, welche mit einer Filmkühlung arbeiten, sind beispielsweise aus den Druckschriften DE 43 28 401 oder US 4,653,983 bekannt.

[0004] Darüber hinaus ist der Einsatz von Metallfilzen bei Turbinenschaufeln bekannt. Dies geht beispielsweise aus den Schriften DE-C2-32 03 869 oder aus DE-C2-32 35 230 hervor. Diese Anwendung eines Metallfilzes hat die Aufgabe, eine (internes) Kühlsystem bereitzustellen. Gleichzeitig kann dieser Metallfilz als Schutz vor Abrasion durch externe mechanische Belastungen dienen, insbesondere wenn er an der Aussenseite der Turbinenschaufel angeordnet und mit einer keramischen Schutzschicht beschichtet worden ist. Eine Turbinenschaufel mit ähnlichen Eigenschaften ist auch aus der Europäischen Schrift EP-B1-132 667 bekannt.

[0005] Wenig vorteilhaft bei diesen Schaufeln ist aber, dass sie nicht aus einem Teil besteht, sondern der Metallfilz immer in einem weiteren Verfahrensschritt montiert werden muss.

## DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur Herstellung eines thermisch belasteten Gussteils einer thermischen Turbomaschine mit einer integrierten Kühlstruktur zu schaffen, welches den Wirkungsgrad der Turbomaschine erhöht. Dabei soll die Kühlstruktur aus demselben Material bestehen wie das Gussteil und möglichst auch in einem Schritt während des Giessverfahrens hergestellt werden können.

[0007] Erfindungsgemäss wird die Aufgabe durch ein Verfahren gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1 dadurch gelöst, dass ein Wachsmodell des zu kühlenden Teils bereitgestellt wird, mindestens ein Polymerschäum bereitgestellt wird, welcher an das Wachsmodell geheftet oder in einen Hohlraum des Wachsmodells eingeführt wird, der mindestens eine Polymerschäum und das Wachsmodell in ein keramisches Material eingetaucht werden, wobei sich das keramische Modell um das Wachsmodell herum anlagert und sich auch der Polymerschäum mit dem keramischen Material füllt, das keramische Material getrocknet wird, so dass eine Gussform entsteht, das Wachs und der mindestens eine Polymerschäum durch eine Wärmebehandlung entfernt werden, das Gussteil mit der Gussform durch ein bekanntes

Gussverfahrens hergestellt wird und das keramische Material entfernt wird.

[0008] In einer zweiten Ausführungsform wird die Aufgabe ähnlich gelöst. In Gegensatz dazu wird aber ein keramischer Einsatz aus einem Polymerschäum mit einer offenen porigen Struktur vorgefertigt. Dieser keramische Einsatz wird an das Wachsmodell anheftet oder in einen Hohlraum des Wachsmodells eingeführt und die Gussform wie oben angegeben gefertigt.

[0009] Zur Einhaltung äusserer Masse der Kühlstruktur ist vorteilhaft der Einsatz einer vorgefertigten Form denkbar, in welcher der Polymerschäum aufgeschäumt wird. Der Schlicker kann an dem Polymerschäum appliziert werden, wenn dieser sich noch in der Form befindet. Auf diese Weise können auch komplizierte dreidimensionale Formen der Kühlstruktur entstehen. Zur besseren Trocknung des noch flüssigen Schlickers kann das Material dieser Form auch einen Binder enthalten.

[0010] Ein solcher vorgefertigter, keramischer Einsatz kann vor der Anwendung zur Herstellung der Gussform stark erhitzt werden, um so eine besondere Festigkeit zu erreichen. Es ist auch denkbar, den Polymerschäum des Einsatzes vor dem Anbringen an das Wachsmodell auszubrennen.

[0011] In einer dritten Ausführungsform wird die erfindungsgemässe Aufgabe durch getrennte Herstellung des Gussteils und der offenen porigen Kühlstruktur gelöst. In einem weiteren Verfahrensschritt werden die beiden Teile durch Löten oder Schweiessen miteinander verbunden.

[0012] Weiter kann eine nach aussen weisende, offene porige Kühlstruktur mit einer keramischen Schutzschicht überzogen werden, um das Gussteil vor zusätzlicher, externer Abrasion und vor den es umgebenden Heissgasen zu schützen. Durch die offene porige Struktur des Metallschäums, haftet die keramische Schutzschicht sehr gut daran und die Möglichkeit einer Abplatzung durch die extremen Betriebsbedingungen wird verringert. Zusätzlich ist die Kühlung unter der keramischen Schutzschicht noch sichergestellt, sofern die Kühlstruktur nicht ganz von der keramischen Schutzschicht durchdrungen ist.

[0013] Bei allen genannten Ausführungsformen kann vorteilhaft ein Polymerschäum mit einer variablen Porengrösse verwendet werden, um so bestimmte Bereiche des Kühlsystems gegenüber anderen Bereichen verstärkt bzw. vermindert zu kühlen. Es wird sich mit Vorteil um ein Giessverfahren zur Herstellung eines einkristallinen oder gerichtet erstarrten Bauteils handeln. Es kann sich beispielsweise bei dem thermisch belasteten Gussteil um eine Leit- oder eine Laufschaufel, um ein Wärmestausegment, um eine Plattform der Leit- oder der Laufschaufel oder um eine Brennkammerwand einer Gasturbine oder um eine Laufschaufel eines Verdichters handeln.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0014] Es zeigen:

[0015] Fig. 1 einen Ausschnitt einer gekühlten Turbinenschaufel, welche nach dem erfindungsgemässen Verfahren hergestellt worden ist,

[0016] Fig. 2 einen Querschnitt durch eine erfindungsgemässe Turbinenschaufel,

[0017] Fig. 3 einen Längsschnitt durch eine erfindungsgemässe Turbinenschaufel,

[0018] Fig. 4 einen Schnitt durch eine Ausführungsform eines erfindungsgemässen Wärmeschutzschildes,

[0019] Fig. 5 einen Schnitt durch eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemässen Wärmeschutzschildes,

[0020] Fig. 6a eine Variation des Ausschnitts VI in der

Fig. 5,

[0021] Fig. 6b eine zweite Variation des Ausschnitts VI in der Fig. 5,

[0022] Fig. 7 eine erfindungsgemässe Leitschaufel mit gekühlten Plattformen und

[0023] Fig. 8 eine gekühlte Wand einer Brennkammer, welche nach dem erfindungsgemässen Verfahren hergestellt worden ist.

[0024] Es werden nur die für die Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt. Gleiche Elemente sind in unterschiedlichen Zeichnungen mit gleichen Bezugszeichen versehen. Die Strömungsrichtung wird mit Pfeilen bezeichnet.

#### WEG ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0025] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung eines thermisch belasteten Gussteils einer thermischen Turbomaschine. Dabei kann es sich im einzelnen beispielsweise um eine Leit- oder Laufschaufel einer Gasturbine oder eines Kompressors, um ein Wärmestausegment einer Gasturbine, um die Wand einer Brennkammer oder um ein ähnliches, thermisch hoch belastetes Gussteil handeln. Diese Gussteile und das erfindungsgemässe Verfahren zu ihrer Herstellung werden im folgenden anhand der beiliegenden Figuren näher erläutert. Allen diesen Gussteilen ist gemein, dass sie aufgrund der externen thermischen Belastung zu kühlen sind und aus diesem Grund ein integriertes, offenes Kühlsystem enthalten.

[0026] Diese Gussteile werden mit allgemein aus dem Stand der Technik bekannten Gussöfen hergestellt. Mit einem solchen Gussöfen können komplex ausgebildete und hohen thermischen und mechanischen Belastungen aussetzbare Bauteile hergestellt werden. Je nach Verfahrenbedingungen ist es möglich, den Giesskörper gerichtet erstarrt herzustellen. Dabei besteht die Möglichkeit, ihn als Einkristall ("single crystal", SX) oder polykristallin als Stengelkristalle, welche eine Vorzugsrichtung aufweisen, ("directionally solidified", DS) auszubilden. Von besonderer Bedeutung ist es, dass die gerichtete Erstarrung unter Bedingungen stattfindet, bei denen zwischen einem gekühlten Teil einer geschmolzenen Ausgangsmaterial aufnehmenden Gussform und dem noch geschmolzenen Ausgangsmaterial ein starker Wärmeaustausch stattfindet. Es kann sich dann eine Zone gerichtet erstarrten Materials mit einer Erstarrungsfront ausbilden, welche bei dauerndem Entzug von Wärme unter Bildung des direkt erstarrten Giesskörpers durch die Gussform wandert.

[0027] Aus der Schrift EP-A1-749 790 ist beispielsweise ein solches Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung eines gerichtet erstarrten Giesskörpers bekannt. Die Vorrichtung besteht aus einer Vakuumkammer, welche eine obere Heizkammer und eine untere Kühlkammer enthält. Beide Kammern sind durch ein Baffle getrennt. Die Vakuumkammer nimmt eine Gussform auf, welche mit einer Schmelze gefüllt wird. Für die Herstellung von thermisch und mechanisch belastbaren Teilen, wie im Falle von Leit- und Laufschaufeln von Gasturbinen, wird beispielsweise eine Superlegierung auf der Basis von Nickel verwendet. In der Mitte des Baffles ist eine Öffnung vorhanden, durch welche die Gussform während des Verfahrens langsam von der Heizkammer in die Kühlkammer bewegt wird, so dass das Gussstück von unten nach oben gerichtet erstarrt. Die Abwärtsbewegung geschieht durch eine Antriebsstange, auf welcher die Gussform gelagert ist. Der Boden der Gussform ist wassergekühlt ausgeführt. Unterhalb des Baffles sind Mittel zum Erzeugen und Führen einer Gasströmung vorhanden. Diese Mittel sorgen durch die Gasströmung neben der unteren Kühlkammer für eine zusätzliche Kühlung und

dadurch für einen grösseren Temperaturgradient an der Erstarrungsfront.

[0028] Ein ähnliches Verfahren, welches neben Heiz- und Kühlkammer mit einer zusätzlichen Gaskühlung arbeitet, ist beispielsweise auch aus der Patentschrift US 3,690,367 bekannt.

[0029] Ein weiteres Verfahren zur Herstellung eines gerichtet erstarrten Giesskörpers ist aus der Druckschrift US 3,763,926 bekannt. Bei diesem Verfahren wird eine mit einer aufgeschmolzenen Legierung gefüllte Gussform kontinuierlich in ein auf ca. 260°C aufgeheiztes Bad getaucht. Hierdurch wird eine besonders rasche Abfuhr von Wärme aus der Gussform erreicht. Dieses und andere, ähnliche Verfahren sind unter dem Begriff LMC (liquid metal cooling) bekannt.

[0030] Es ist für die Erfindung vorteilhaft, diese Art von Gussöfen zur Herstellung von einkristallinen oder gerichtet erstarrten Gussteilen zu benutzen, sie ist jedoch nicht darauf beschränkt.

[0031] Das erfindungsgemässe Verfahren zur Herstellung einer Turbinenschaufel 1, wie sie beispielsweise in den Fig. 1 bis 3 in verschiedenen Ausführungsformen dargestellt ist, bezieht sich auf ein in die Turbinenschaufel 1 integriertes Kühlsystem 7, welches ganz oder teilweise mit einem offenkporigen Metallschaum 9 ausgefüllt ist. Die Turbinenschaufel 1 der Fig. 1 besitzt einen Hohlraum 6, von dem aus während des Betriebs der Turbomaschine Kühlluft 18 durch innere Kühllöcher 8, 8b in das doppelwandig ausgestaltete Kühlsystem 7 geleitet wird. Die Pfeile geben die Strömungsrichtung der Kühlluft 18 an. Die Kühlluft 18 strömt dann sowohl innerhalb der Turbinenschaufel in die Höhe als auch an die Hinterkante 3 der Turbinenschaufel 1. Sie kann das Kühlsystem 7 an der Hinterkante 3, an äusseren Kühllöchern 8, 8a oder auch an grösseren Kühloffnungen 8, 8c, welche beide an der Vorderseite 2, an der Druckseite 4 oder an der Saugseite 5 vorhanden sein können, wieder verlassen. An den äusseren Kühllöchern 8, 8a stellt sich eine Filmkühlung ein, während die Wände im Inneren des Kühlsystems 7 durch Konvektion gekühlt werden. Wie an dem Ausbruch in der Fig. 1 sichtbar ist, können je nach Anwendungsfall auch innerhalb des Kühlsystems 8 axiale Rippen 10 vorhanden sein, in welchen kein Metallschaum 9 vorhanden ist und in welchen die Kühlluft 18 ungehindert strömen kann.

[0032] Die Fig. 3, welche die Vorderkante 2 vom Schauffuss 9 bis zur Schauffelspitze 10 in der Form eines Längsschnitts durch eine erfindungsgemässe Turbinenschaufel 1 zeigt, offenbart die Strömungsrichtung der Kühlluft 18. Die Kühlluft 18 tritt in das Kühlsystem 7 durch innere Kühloffnungen 8, 8b vom Hohlraum 6 ein. Die Kühlluft 18 durchströmt dann die Poren des Metallschaums 9, welche sich innerhalb des Kühlsystems 7 befindet.

[0033] Ziel der Erfindung ist es nun, derartige, mit offenkporigem Metallschaum 9 gefüllte Kühlsysteme 7 bereits während des Giessverfahrens mit Gussöfen, wie sie weiter oben erwähnt wurden, integral mit dem gesamten Gussteil zu fertigen. Dazu wird ein Wachstmodell des zu kühlenden Teils bereitgestellt. Ein offenkporiger Polymerschaum, welcher beispielsweise ein Polyurethanschaum sein kann, wird an das Wachstmodell des zu giessenden Teils geheftet oder in einen möglicherweise vorhandenen Hohlraum des Wachstmodells eingeführt. Es können auch verschiedene Wachst/Polymermodell zu einem gesamten Modell zusammengeheftet werden. Der Polymerschaum und das Wachstmodell wird dann in ein flüssiges, keramisches Material, welches auch Schlicker genannt wird, eingetaucht. Dabei bildet sich nicht nur um das Wachstmodell die spätere Gussform des Gussteils, sondern das keramische Material dringt auch in die Poren des Polymerschaums ein. Der Schlicker durch-

dringt den Polymerschäum ganz, da es sich um einen offenkörnigen Schaum handelt. Anschliessend wird das keramische Material getrocknet, so dass die Gussform, mit welcher das Gussteil hergestellt wird, entsteht. Nach dem Trocknungsvorgang des Schlickers wird das Wachs und auch der Polymerschäum durch eine geeignete Wärmebehandlung entfernt, d. h. ausgebrannt. Bei diesem Verfahrensschritt wird die Gussform gebrannt, d. h. sie enthält auf diese Weise ihre Festigkeit. Das Gussteil wird mit der so entstandenen Gussform durch einen bekannten, weiter oben näher beschriebenen Gusssofen auf bekannte Weise hergestellt. Da die flüssige Legierung beim Einfüllen nicht nur in die Gussform selbst, sondern auch in die durch den Polymerschäum entstandenen Poren, welche das spätere Kühlsystem bilden, ohne Probleme eindringt, entsteht der oben erwähnte Metallschaum 9 als Kühlsystem 7 gleichzeitig während der Erstarrung der Legierung. Vorteilhaft bestehen dann das Gussteil und der Metallschaum aus einem Teil und weitere Verfahrensschritte zur Herstellung der Kühlstruktur fallen nicht an. Diese Art der Herstellung vermeidet durch den Gussvorgang und die anschliessende Erstarrung auch eine Porosität der Superlegierung innerhalb des Metallschaums 9, da sich die flüssige Legierung schon während des Einfüllens gleichmässig innerhalb des offenkörnigen Gussform (entstanden durch den Polymerschäum) verteilt.

[0034] Die keramische Gussform kann anschliessend auf geeignete Weise entfernt werden, so zum Beispiel durch Anwendung einer Säure oder einer Lauge.

[0035] Mit dem beschriebenen Verfahren kann auch eine Struktur geschaffen werden, wie sie in der Fig. 2, welche schematisch einen Schnitt durch eine erfindungsgemässe Turbinenschaufel 1 zeigt, sichtbar ist. In diesem Fall ist die Kühlstruktur 7 lediglich an der Vorderkante 2 der Turbinenschaufel 1 vorhanden. Geschaffen wurde diese Kühlstruktur 7 wie bereits oben beschrieben durch einfaches Anheften des Polymerschums an das Wachsmoell. Alle anderen Verfahrensschritte der Herstellung sind gleich. Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 2 dringt die Kühlluft 18 von dem Hohlraum 6 durch die Kühllöcher 8, 8b in die Kühlstruktur 7 ein. Die Kühlstruktur 7 selber ist mit einer keramischen Schutzschicht 11 (Thermal Barrier Coating, TBC) beschichtet. Dies geschieht beispielsweise durch ein aus dem Stand der Technik bekanntes Plasma-Spray-Verfahren oder ein gleichwertiges Beschichtungsverfahren.

[0036] Selbstverständlich sind vor der Beschichtung mit dem TBC aus dem Stand der Technik eine bekannte, hier nicht näher erwähnte Wärmebehandlung des Rohgussteils notwendig. Auch ist denkbar, dass vor der Beschichtung mit TBC eine metallische Schutzschicht wie  $\text{MCrAlY}$  mit bekannten Mitteln aufgetragen wird.

[0037] Die Beschichtung der porösen Kühlstruktur 7 mit TBC kann auf verschiedene Weise (durch Variation der Parameter wie Sprühwinkel, -distanz, -partikelgrösse, -geschwindigkeit, -temperatur etc.) geschehen. Die Kühlstruktur 7 kann vollständig mit TBC durchdrungen werden, so dass die Poren des Metallschaums 9 ganz gefüllt sind. Durch Poren wird eine sehr gute Haftung des TBC ermöglicht. Die Kühlstruktur 7 kann auch lediglich in einer Schicht nahe der Oberfläche mit TBC bedeckt sein, so dass unterhalb der Schutzschicht aus TBC noch eine Schicht besteht, in welche Kühlluft 18 eindringen kann. Es ist ebenso denkbar, dass Kühllöcher 8 innerhalb der Schutzschicht 11 vorhanden sind, durch die die Kühlluft 18 nach aussen austritt. Durch die offenkörnige Struktur des Metallschaums 9 haftet die keramische Schutzschicht 11 sehr gut daran. Durch eine Vergrößerung zur Porengrösse nach aussen hin (dort wo die Schutzschicht 11 aufgetragen wird) kann die Haftung der keramischen Schutzschicht 11 an der Kühlstruktur noch ver-

bessert werden. Die Abplatzung des TBC während des Betriebes des Gussteils durch schlechte Haftung auf dem Grundmaterial wird vorteilhaft deutlich verringert bzw. verhindert.

[0038] Ist die keramische Schutzschicht 11 selbst porös genug, dass sie den Durchlass von Kühlluft in hinreichendem Masse erlaubt, sind keine externen Kühllöcher erforderlich. Auf diese Weise kann eine sogenannte Schwitzkühlung erreicht werden, welche sich als sehr effektiv in der Kühllwirkung erwiesen hat.

[0039] Mögliche Kühllöcher 8 innerhalb der keramischen Schutzschicht 11 können dadurch entstanden sein, dass eine geeignete Maskierung vor der Beschichtung mit TBC und eine Demaskierung mit geeigneten Mitteln danach stattfindet. Die Maskierung kann beispielsweise mit Polymerschäum geschehen, welcher zur Demaskierung ausgebrannt wird. Ein zweite Möglichkeit die Oberfläche zu maskieren besteht darin, innerhalb der Gussform stellen vorzuschieben, welche dieser Stelle besetzen. In diesem Fall wird die keramische Gussform an diesen Stellen erst nach einer Beschichtung mit TBC entfernt.

[0040] Das Anfertigen eines Metallschaums 9 wie in der Fig. 2 an der äusseren Fläche und das zusätzliche Beschichten mit TBC ist insbesondere an den Stellen sinnvoll, an denen es zu einem Abrieb durch eine mechanische Einwirkung kommen kann, so zum Beispiel an der Schaufelspitze einer Turbinenschaufel 1 oder an einem Wärmestausegment, da die offenkörnige Struktur des Metallschaums 9 sehr flexibel ist und durch den Abrieb selbst nicht verstopft. Insgesamt wird der Abrieb durch die Flexibilität des Metallschaums 9 jedoch verringert.

[0041] In einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens wird der Polymerschäum vor dem Anheften an das Wachsmoell bzw. vor dem Einführen in einen Hohlraum, welcher sich im Wachsmoell befindet, mit einem Schlicker behandelt, so dass ein getrenntes Moell der Kühlstruktur aus einem keramischen Material entsteht. Der Polymerschäum wird in den Schlicker getaucht, so dass sich die Poren füllen. Anschliessend folgt die obligatorische Trocknung des Schlickers. Bei der Herstellung dieses Einsatzes ist darauf zu achten, dass die Grösse, d. h. die äusseren Abmasse, des Polymerschums nicht bzw. nur in geringen Toleranzgrenzen verändert wird. Dies kann auch dadurch sichergestellt werden, dass der Polymerschäum in einer Form aufgeschäumt wird, so dass die äusseren Abmasse und unter Umständen auch eine komplexe 3-dimensionale Ausformung fest vorgegeben sind. Es ist auch denkbar, den Schlicker in den Polymerschäum einzufüllen, während er sich noch in dieser Form befindet. Dieses keramische Moell bzw. dieser Einsatz wird, wie oben bereits beschrieben, an das Wachsmoell geheftet oder in einen Hohlraum eingeführt, bevor die gesamte Gussform hergestellt wird und das Wachs/Polymerschäum ausgebrannt wird. Optional kann der Polymerschäum vor dem Anheften bzw. Einführen ausgebrannt werden.

[0042] Das Material der oben erwähnten Form, in welcher der Polymerschäum zur Einhalten der äusseren Abmasse aufgeschäumt werden kann, kann zur verbesserten Trocknung des Schlickers einen Binder enthalten.

[0043] Ein solcher Einsatz kann vor dem Anbringen an das Wachsmoell zusätzlich durch eine Wärmebehandlung erhitzt werden, was die Festigkeit weiter erhöht. Dies geschieht bei dem Keramikkörper durch einen Sintervorgang. Die Gussform wird insgesamt fester und dichter.

[0044] Mit dem erfindungsgemässen Verfahren können auch Gussteile, wie sie in den Fig. 4 bis 8 dargestellt sind, hergestellt werden. Die Fig. 4 und 5 zeigen ein Wärmestausegment 14 einer Gasturbine. Dieses Wärmestausegment 1

kann eine doppelwandige Kühlstruktur 7 haben (Fig. 4) oder auch einen aussen angebrachten Metallschaum 9 (Fig. 5), welcher analog zur Turbinenschaufel der Fig. 2 ganz oder teilweise mit einer Schutzschicht 11 aus TBC beschichtet sein kann. In beiden Ausführungsformen wird das Wärmestausegment mit Kühlluft 18 durchströmt. Dies wird durch den offenporigen Metallschaum 9 ermöglicht. Die Kühlluft 18 dringt durch Kühllöcher 8 in das Kühlsystem 7 ein und verlässt es durch diese auch wieder.

[0045] Die Fig. 6a, 6b zeigen zwei Varianten des Ausschnitts VI der Fig. 5. Wie aus der Fig. 6a ersichtlich, kann der Metallschaum 9 durch Variation der Porengrösse des Polymerschaums während des Herstellungsverfahrens eine unterschiedliche Porengrösse erhalten. Die Fig. 6a zeigt den Metallschaum 9, 92 mit einer variablen Porengrösse. Dies ermöglicht eine stärkere bzw. eine schwächere Kühlung einzelner Bereiche des Gussteils. Wie weiter oben bereits erwähnt ist dies auch für einen besseren Halt der Schutzschicht 11 auf dem Metallschaum 9 von Vorteil. Wie oben beschrieben kann die Schutzschicht 11 auch mit Kühllöchern 8 durchbrochen sein, durch die die Kühlluft 18 nach aussen strömen kann.

[0046] Während des Betriebes der Gussteile kann es notwendig sein, die Kühlluft zu filtern, um zu verhindern, dass die feinporige Struktur nicht durch Verunreinigungen, welche sich in der Kühlluft befinden, verstopft und so die Kühlleistung herabsetzt.

[0047] In der Fig. 6b, welche eine zweite Variante des Ausschnitts VI der Fig. 5 zeigt, besteht das Kühlsystem 7 aus mehreren Schichten von dem Metallschaum 9 und dazwischen liegenden Platten 15. Die Anzahl der Schichten Metallschaum 9/Platte 15 ist nur beispielhaft gewählt und hängt vom speziellen Anwendungsfall ab. Bereits während der Herstellung, wie sie oben beschrieben wurde, werden mehrere Schichten aus Wachs/Polymerschaum bereitgestellt, aus welchen anschliessend die Gussform für das Gussteil, wie bereits weiter oben beschrieben, gefertigt wird. Das führt während der Herstellung unmittelbar zu dem in der Fig. 6b dargestellten Ausführungsbeispiel. Die Kühlluft 18 durchdringt den Metallschaum 9, kann innerhalb einer "Ebene" strömen und durch Konvektion bzw. Transpiration kühlen. Die verschiedenen Ebenen sind zwar durch die Platten 15 getrennt, es existieren aber Kühllöcher 8, durch welche die Kühlluft 18 die Ebene wechseln kann. Allgemein hängt die konkrete Ausgestaltung dieses Kühlsystems 7 natürlich vom Einzelfall ab. Die Kühllöcher 8 innerhalb der Platten 15 werden ebenfalls schon während der Herstellung erzeugt.

[0048] Die gemachten Ausführungen gelten auch für die in der Fig. 7 dargestellte Leitschaufel 16, welche zwei gekühlte Plattformen 17 aufweist, und die in der Fig. 8 gezeigte, ebenfalls gekühlte Brennkammerwand 19. Weitere Ausführungsbeispiele, welche nicht mit Figuren dargestellt sind, sind die gekühlten Gussteile (Schaufeln etc.) eines Kompressors.

[0049] Die mit dem erfindungsgemässen Verfahren hergestellten Gussteile mit einem integrierten, offenporigen Kühlsystem 7 sind auch deshalb vorteilhaft, da die Druckdifferenz des Kühlmediums zwischen dem äusseren Druck und dem inneren Druck (innerhalb des Hohlraum 6) die Effektivität der Kühlung stark beeinflusst. Diese Druckdifferenz kann durch die geeignete Wahl der Poren (Verteilung, Grösse, etc.) des Metallschaums 9 sehr gut eingestellt und kontrolliert werden.

[0050] Als drittes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verfahrens können das Gussteil und die poröse Kühlstruktur 7 durch getrennte Gussverfahren hergestellt werden und später durch Löten oder Schweiessen zusammen-

gefügt werden. Die poröse Kühlstruktur 7 wird durch den oben erwähnten Polymerschaum und den Schlicker evtl. unter dem Einsatz einer Form gefertigt.

## BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Turbinenschaufel
- 2 Vorderkante
- 3 Hinterkante
- 4 Druckseite
- 5 Saugseite
- 6 Hohlraum von Turbinenschaufel 1
- 7 Kühlstruktur
- 8 Kühllöcher
- 8a Kühllöcher, aussen
- 8b Kühllöcher, innen
- 8c Kühloöffnung
- 9 Metallschaum
- 9<sub>1</sub>, 9<sub>2</sub> ; Metallschaum variabler Porosität
- 10 Axiale Rippen
- 11 Keramische Schutzschicht
- 12 Schaufelfuss
- 13 Schaufelspitze
- 14 Wärmestausegment
- 15 Platte
- 16 Leitschaufel
- 17 Plattform von Leitschaufel 16
- 18 Kühlluft
- 19 Brennkammerwand

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines thermisch belasteten Gussteils (1, 14, 16, 17) einer thermischen Turbomaschine mit einem bekannten Gussverfahren, wobei das thermisch belastete Gussteil (1, 14, 16, 17) eine integrierte Kühlstruktur (7) aufweist und mit einer Gussform hergestellt wird, dadurch gekennzeichnet, dass
  - (a) ein Wachsmoell des zu kühlenden Teils bereitgestellt wird,
  - (b) mindestens ein Polymerschaum bereitgestellt wird, welcher an das Wachsmoell geheftet oder in einen Hohlraum des Wachsmoells eingeführt wird,
  - (c) der mindestens eine Polymerschaum und das Wachsmoell in ein keramisches Material (Schlicker) eingetaucht werden, wobei sich das keramische Material um das Wachsmoell herum anlagert und sich auch der Polymerschaum mit dem keramischen Material füllt,
  - (d) das keramische Material getrocknet wird, so dass eine Gussform entsteht,
  - (e) das Wachs und der mindestens eine Polymerschaum durch eine Wärmebehandlung entfernt werden,
  - (f) das Gussteil (1, 14, 16, 17) mit der Gussform durch ein bekanntes Gussverfahren hergestellt wird und
  - (g) das keramische Material entfernt wird.
2. Verfahren zur Herstellung eines thermischen belasteten Gussteils (1, 14, 16, 17) einer thermischen Turbomaschine mit einem bekannten Gussverfahren, wobei das thermisch belastete Gussteil (1, 14, 16, 17) eine integrierte Kühlstruktur (7) aufweist und mit einer Gussform hergestellt wird, dadurch gekennzeichnet, dass
  - (a) ein Wachsmoell des herzustellenden Teils bereitgestellt wird,

- (b) ein vorgefertigter, keramischer Einsatz mit einer offenporigen Struktur, an das Wachsmo-  
dell angefügt oder in einen Hohlraum des Wachsmo-  
dells eingeführt wird,
- (c) das Wachsmo-  
dell mit dem Einsatz in ein kera-  
misches Material (Schlicker) eingetaucht wird, 5
- (d) das keramische Material getrocknet wird, so  
dass eine Gussform entsteht,
- (e) das Wachs durch eine geeignete Wärmebe-  
handlung entfernt wird, 10
- (f) das Gussteil (1, 14, 16, 17) mit der Gussform  
die mit einem bekannten Gussverfahrens herge-  
stellt wird und
- (g) das keramische Material der Gussform ent-  
fernt wird. 15
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeich-  
net, dass der keramische Einsatz vor der Anwendung in  
Schritt (b) des Anspruchs 2 erhitzt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeich-  
net, dass die offenporige Struktur des vorgefertigten, 20  
keramischen Einsatzes durch einen Polymerschaum  
hergestellt wird, wobei der Polymerschaum in ein kera-  
misches Material eingetaucht wird, so dass sich die Po-  
ren des Polymerschaums mit dem keramischen Mate-  
rial füllen und das keramische Material anschliessend 25  
getrocknet und gebrannt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeich-  
net, dass der Polymerschaum vor Anwendung im Ver-  
fahrensschritt (b) des Anspruchs 2 durch eine Wärmebe-  
handlung entfernt wird. 30
6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeich-  
net, dass die offenporige Struktur des vorgefertigten,  
keramischen Einsatzes durch einen Polymerschaum  
hergestellt wird, welcher in eine vorgefertigte Form 35  
eingeführt wird, und danach in der Form oder getrennt  
von der Form mit dem keramischen Material gefüllt  
wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeich-  
net, dass das Material der vorgefertigten Form einen 40  
Binder enthält.
8. Verfahren zur Herstellung eines thermischen bela-  
steten Gussteils (1, 14, 16, 17) einer thermischen Tur-  
bomaschine mit einem bekannten Gussverfahren, wo-  
bei das thermisch belastete Gussteil (1, 14, 16, 17) eine 45  
integrierte Kühlstruktur (7) aufweist und mit einer  
Gussform hergestellt wird, dadurch gekennzeichnet,  
dass
- (a) das Gussteil (1, 14, 16, 17) mit einer Guss-  
form mit einem bekannten Gussverfahrens herge-  
stellt wird, 50
- (b) die poröse Kühlstruktur (7) durch eine Guss-  
form, welche durch ein poröses Polymer und ein  
keramisches Material entsteht, getrennt von Guss-  
teil hergestellt wird und
- (c) das Gussteil (1, 14, 16, 17) und die Kühlstruk-  
tur (7) durch Löten oder Schweißen miteinander 55  
verbunden werden.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2, oder 8,  
dadurch gekennzeichnet, dass eine nach aussen wei-  
sende, sich am Gussteil (1, 14, 16, 17) befindenden of-  
fenporige Kühlstruktur (7) mit einer keramischen 60  
Schutzschicht (11) beschichtet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeich-  
net, dass die keramische Schutzschicht (11) die Kühl-  
struktur (7) ganz durchdringt oder die Kühlstruktur (7) 65  
nur oberflächennah mit der Schutzschicht (11) be-  
schichtet ist.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekenn-

zeichnet, dass an Stellen der Oberfläche des Gussteils  
(1, 14, 16, 17), an denen Kühllöcher (8) entstehen sol-  
len, vor der Beschichtung mit einer keramischen  
Schutzschicht (11) maskiert werden und diese Stellen  
nach der Beschichtung wieder demaskiert werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 4, 5, 6  
oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Schich-  
ten von dem Polymerschaum und dem Wachs vorhan-  
den sind, welche zur Herstellung von offenporigen  
Kühlstrukturen (7), welche durch Platten (15) vonein-  
ander getrennt sind, dienen.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 4, 5, 6  
oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Polymer-  
schaum eine variable Porengrösse aufweist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 4, 5, 6  
oder 8 dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem  
Polymerschaum um einen Polyurethanschaum handelt.

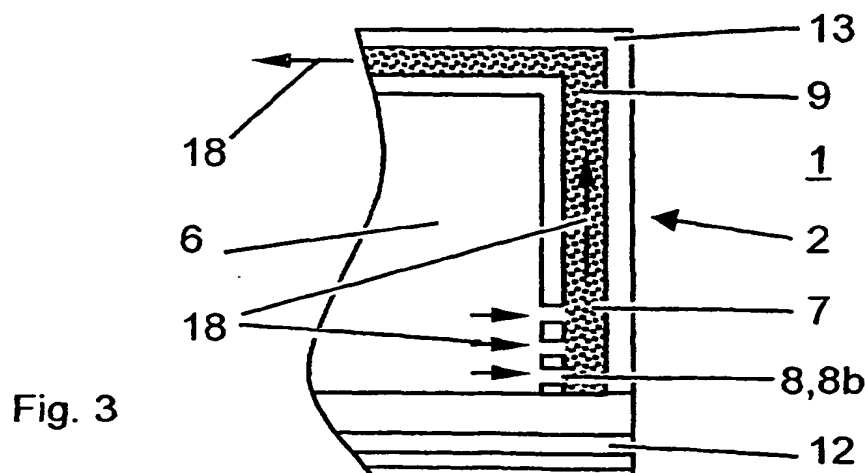
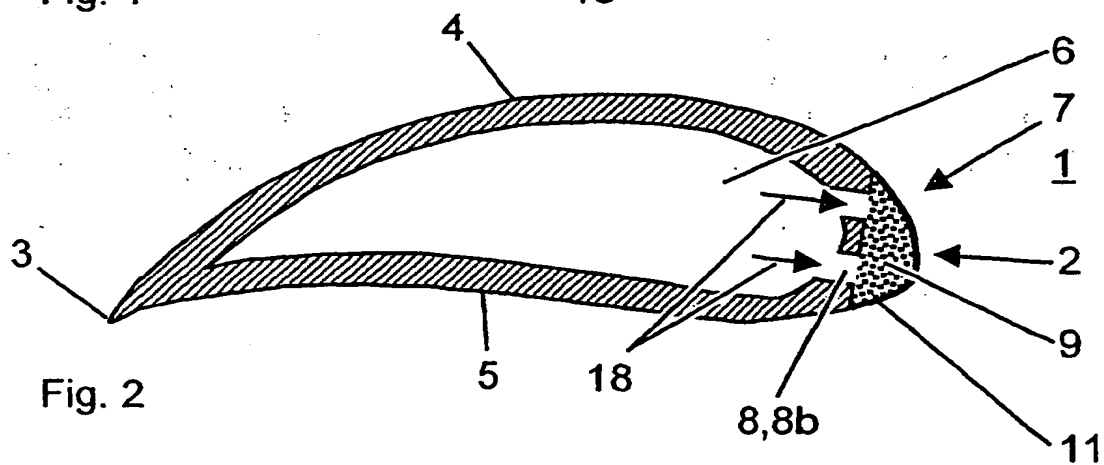
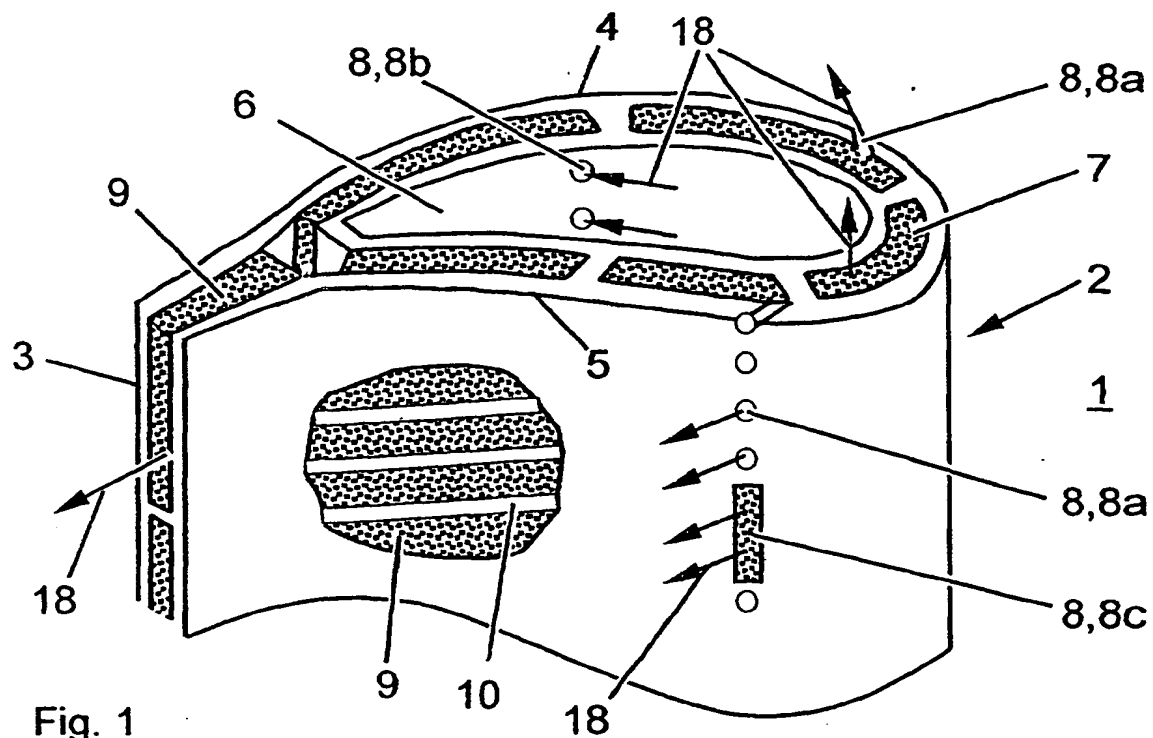
15. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 8 dadurch ge-  
kennzeichnet, dass ein Gussverfahren zur Herstellung  
von einkristallinen oder gerichtet erstarrten Gussteilen  
verwendet wird.

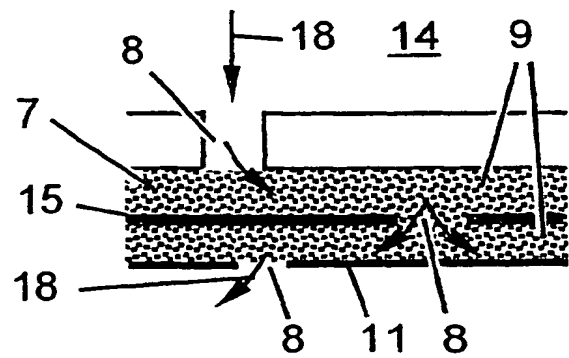
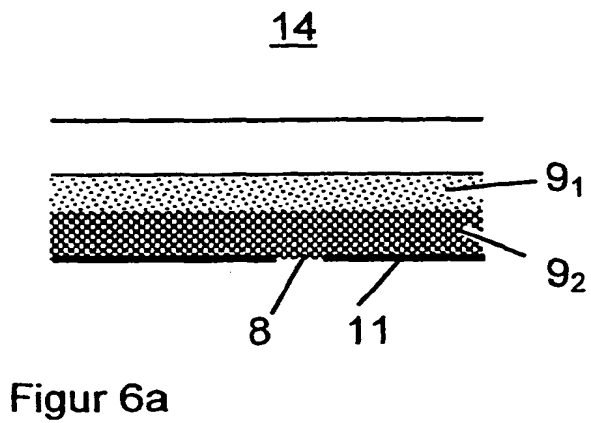
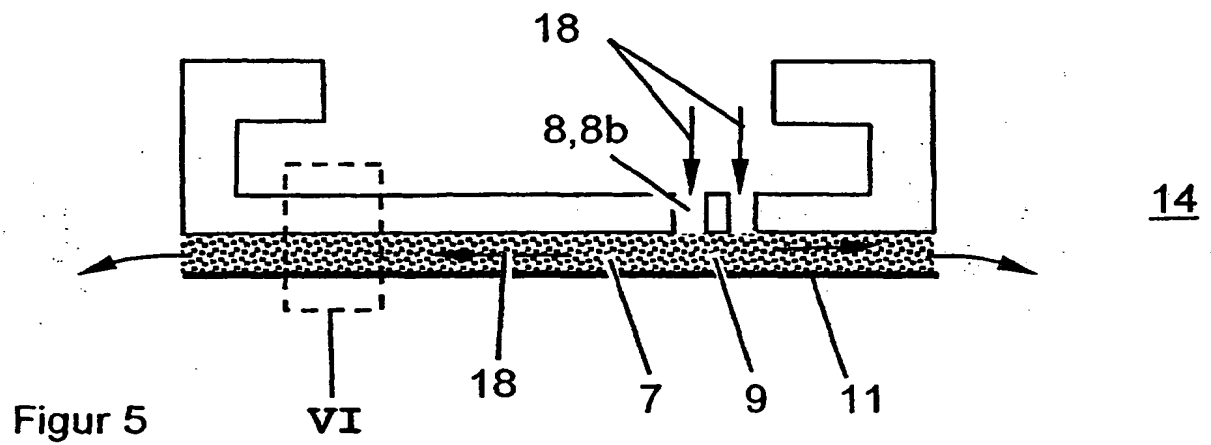
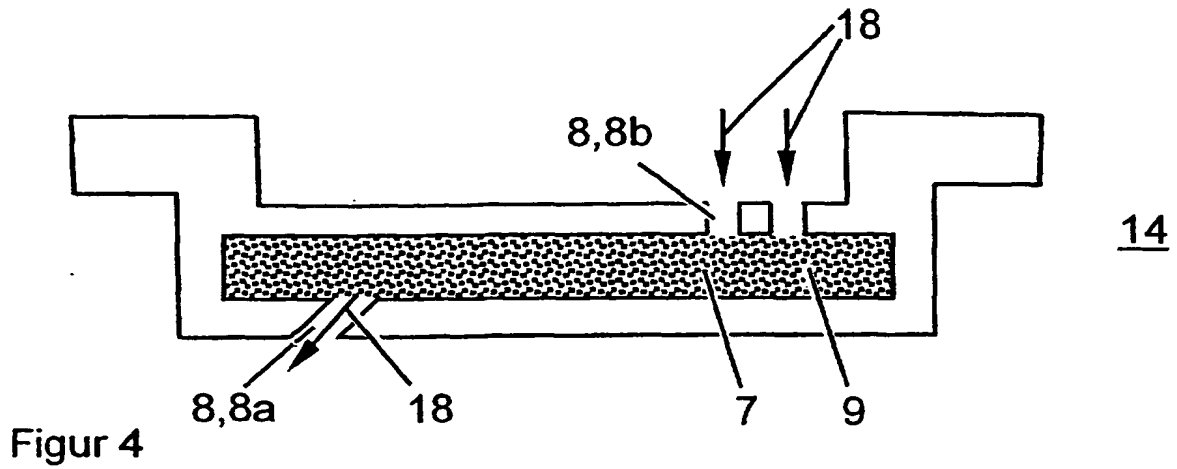
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 8  
dadurch gekennzeichnet, dass es sich um Verfahren zur  
Herstellung einer Leit- oder einer Laufschaufel (1), ei-  
nes Wärmestausegments (14), einer Plattform (17) der  
Leit- oder der Laufschaufel (1, 16), einer Brennkam-  
merwand (18) einer Gasturbine oder einer Leit- oder  
Laufschaufel (1, 16) eines Verdichters handelt.

---

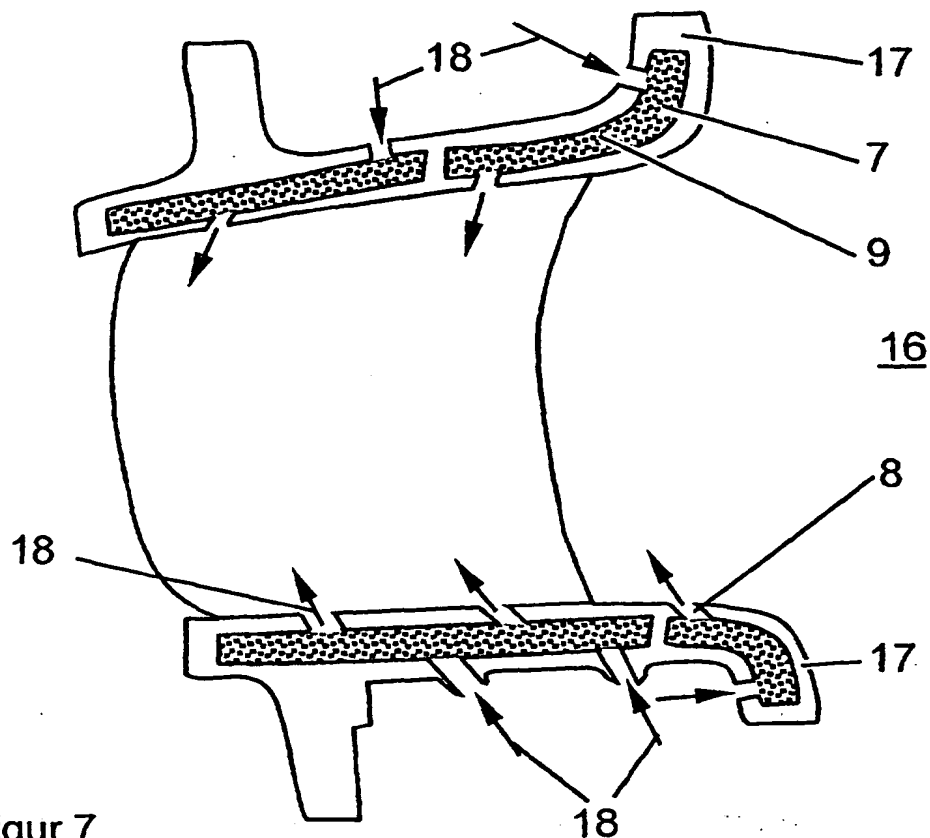
Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

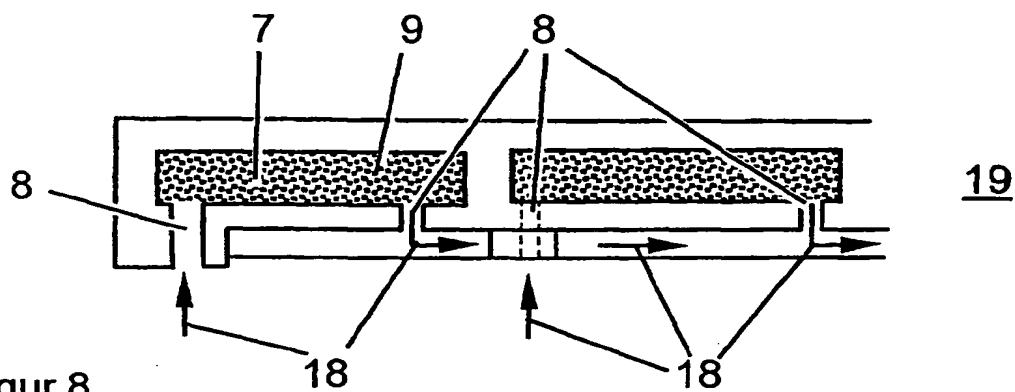








Figur 7



Figur 8